

# Freie Universität Berlin

- Fachbereich Physik –

## *Gamma-Spektroskopie*

Protokoll zum Versuch des physikalischen Grundpraktikums I

Teilnehmer:

Ludwig Schuster, ludwig.schuster@fu-berlin.de

Florian Conrad, florianc@zedat.fu-berlin.de

Tutor:

Sören Waßerroth

Praktikumsleiterin:

Dr. Beate Schattat

<b>Physikalische Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
Versuchsaufbau .....	4
Funktionsweise des Szintillationsdetektors .....	4
Messprotokoll .....	4
<i>Versuch 2: Spektrenaufnahme von Cobalt, Natrium, Caesium und Americium</i> .....	5
<i>Aufgabe 6: Überprüfung des Absorbtionsgesetzes</i> .....	7
<b>Auswertung:.....</b>	<b>7</b>
Aufgabe 1: Messung der natürlichen Äquivalenzdosisleistung .....	7
Aufgabe 2 Aufnahme der Spektren .....	7
Aufgabe 3 Bestimmung der Energie .....	7
Aufgabe 4: Bestimmung des Auflösungsvermögens <sup>137</sup> Cs .....	8
Aufgabe 5 maximalen Übertragsenergie beim Compton-Streuprozess .....	9
Fehlerbetrachtung: .....	9
Aufgabe 6: Absorption .....	9
<i>Halbwertsdicke:</i> .....	10
<b>Diskussion .....</b>	<b>11</b>
Aufgabe 1: .....	11
Aufgabe 2: .....	11
Aufgabe 3: .....	11
Aufgabe 4: .....	11
Aufgabe 5: .....	11
Aufgabe 6: .....	12

## Physikalische Grundlagen

Ein natürlich vorkommender, spontaner Zerfall von Atomen, bei dem Energie frei wird, nennt man Radioaktivität. Gamma-Strahlung ist hierbei jene radioaktive Strahlung, welche als ionisierende, elektromagnetische Welle von Gamma-Quanten auftritt. Sie entsteht bei einer Neuordnung von Protonen und Neutronen im Atomkern, wobei Photonen emittiert werden. Jene können durch ein Multikanalanalysator registriert werden. In wie weit diese Strahlung von Materie bei Auftreffen und Durchdringen absorbiert wird, beschreibt folgende Gesetzmäßigkeit:

$$I(x) = I_0 e^{(-\mu x)}$$

### Gleichung 1

Hierbei sind  $I_0$  die Ausgangsintensität,  $\mu$  der Absorptionskoeffizient und  $x$  die Eindringtiefe. Es gibt drei verschiedene Möglichkeiten, wie jene Gamma-Quanten von Atomen absorbiert werden können. Zum einen ist der Paarbildungseffekt möglich, bei dem die Energie des Quants beim Zusammenstoß mit einem Atomkern, nach der Einsteinschen Beziehung, komplett in Materie, in Form je eines Elektrons und Positrons, umgewandelt wird.

$$E = mc^2$$

### Gleichung 2

Eine andere Möglichkeit ist der Photoeffekt, bei dem der Quant auf die Atomhülle, genauer ein Elektron trifft und eine Energieübertragung stattfindet. Das Elektron verlässt durch die vom Gamma-Quant erhaltene Energie das Atomgefüge. Restliche Energie wird als Röntgenstrahlung emittiert.

Die letzte Möglichkeit wird durch den Compton-Effekt beschrieben. Hierbei wird die Gamma-Strahlung von einem Elektron abgelenkt. Die dabei absorbierte Energie entspricht folgender Gleichung:

$$T = \frac{E_0}{1 + m_0 c^2} \frac{1}{1 - \cos \vartheta E_0}$$

### Gleichung 3

Die Ausgangsenergie  $E_0$  wird hierbei durch den Ablenkungswinkel modifiziert.

## Versuchsaufbau

Es wurden radioaktive Proben in einem Messgerät verwendet, welches die Messung am Computer liefert sodass die Messdaten komplett computergeneriert sind. Die Messproben selber sind für die Experimente speziell vorbereitet Präparate, die gerichtet Strahlen. Das Messgerät ist ein NaJ-Szintillationspektrometer mit Hoch- und Hilfsspannungsversorgung sowie ein PC gestützter Vielkanalanalysator.

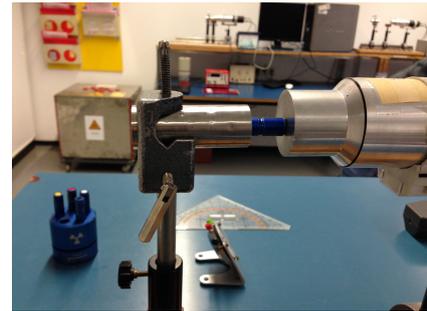


Abbildung 1 Foto einer Probe am Messgerät

Für die Messung der Absorption wurden vorbereitet Eisen und Blei scheiben in entsprechenden Halterungen in den Strahlengang eingesetzt.

Die Hintergrundstrahlung wurde mit einem Äquivalenzdosimeter erfasst.

## Funktionsweise des Szintillationsdetektors

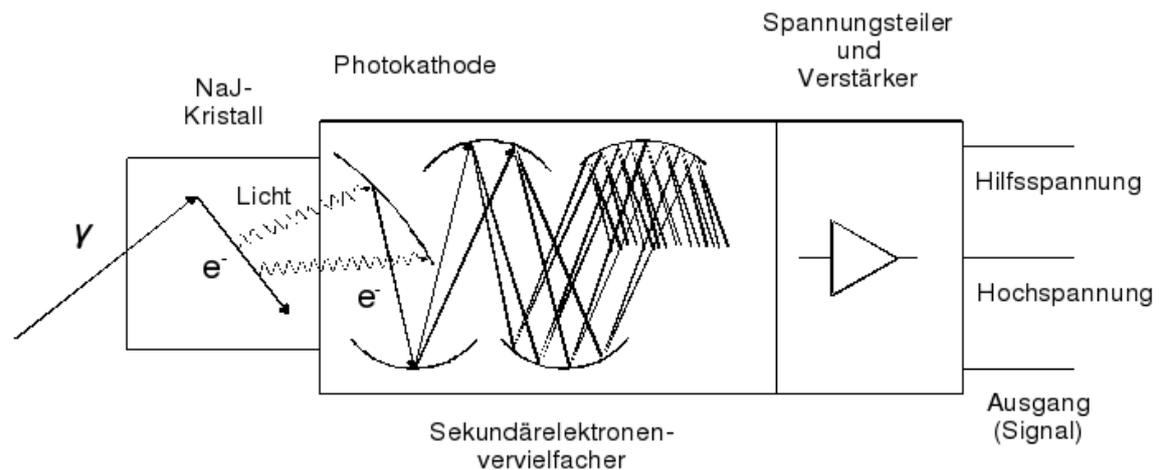


Abbildung 2 Funktionsweise des Szintillationsdetektors

In einem NaJ-Kristall wird das  $\gamma$ -Quant durch ein Hüllenelektron absorbiert (Photoeffekt), das aus dem Molekülverband herausgeschlagen wird und sich als freies Elektron im Kristall bewegt. Bei der anschließenden Abbremsung des Elektrons werden zahlreiche Atome optisch angeregt, die bei ihrer Rückkehr in den Grundzustand Licht aussenden. Das Licht fällt auf eine *Photokathode*, wo es wiederum durch Photoeffekt freie Elektronen auslöst. Diese Elektronen werden in einen *Sekundärelektronenvervielfacher* lawinenartig verstärkt und verursachen einen elektrischen Impuls, der anschließend elektronisch weiterverstärkt wird. Das gesamte System arbeitet *linear*, d.h. die Höhe des Ausgangsimpulses des Systems ist proportional zur Energie des auslösenden  $\gamma$ -Quants.

## Messprotokoll

Messungen durchgeführt am 13.6.2014

Datenaufnahme erfolgte über PHYWE Measure am Computer. Die Messreihen sind sehr groß, ca. 4000 Daten, daher werden die Tabellen aus dem Messprotokoll in Anbetracht des zu erwartenden Papierverbrauchs herausgelassen. Sie können bei Bedarf digital nachgereicht werden.

Plots:

## Versuch 2: Spektrenaufnahme von Cobalt, Natrium, Caesium und Americium

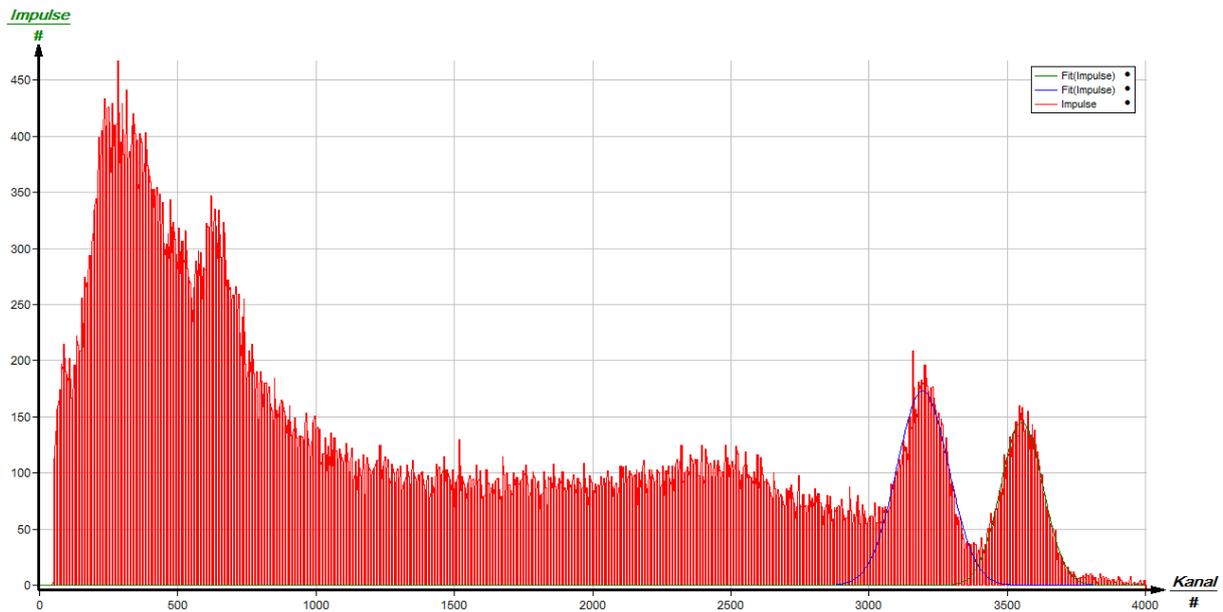


Abbildung 3 Spektrum von  $^{60}\text{Co}$

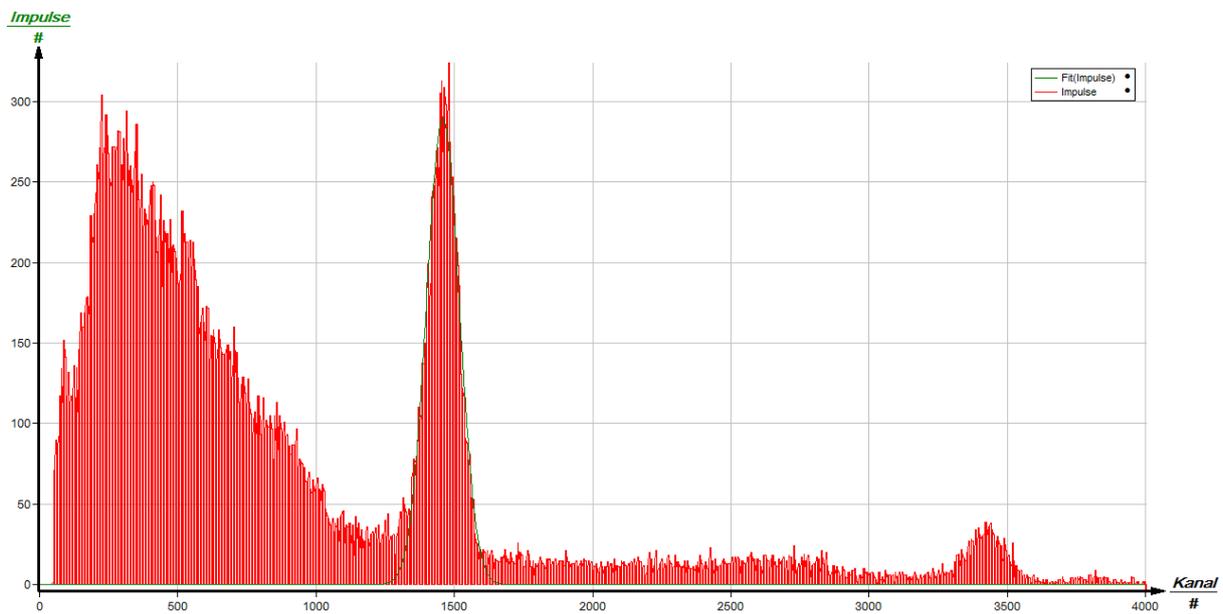


Abbildung 4 Spektrum von  $^{22}\text{Na}$

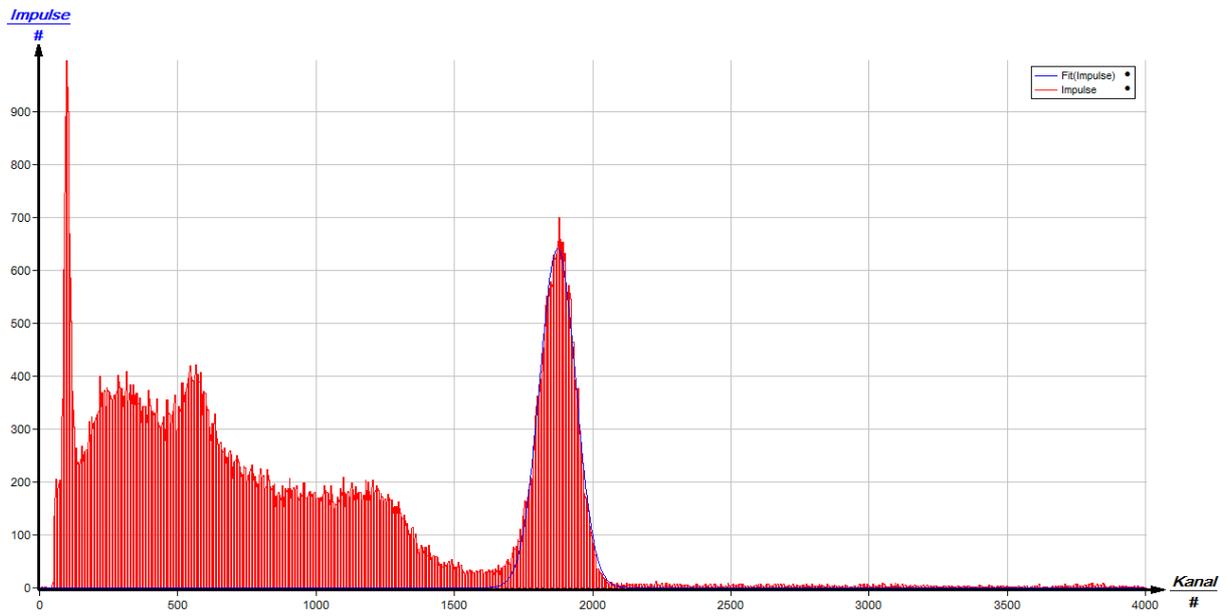


Abbildung 5 Spektrum von <sup>137</sup>Caesium

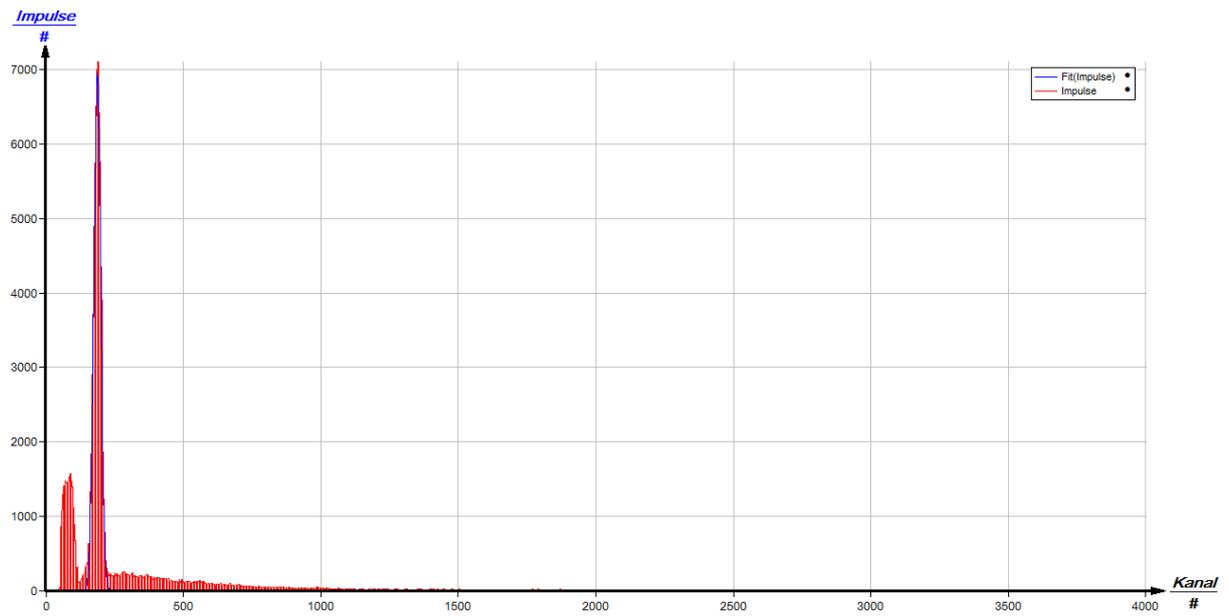


Abbildung 6 Spektrum von <sup>241</sup>Americium

## Aufgabe 6: Überprüfung des Absorbtionsgesetzes

Dicke in mm	Anzahl Impulse
0	7884
5	5018
10	3122
15	1921
20	1250
25	796

Tabelle 1 Absorptionsdaten von Eisen

Dicke in mm	Anzahl Ereignisse
0	8110
3	5943
6	4300
9	3748
12	2168
15	1557
18	1145

Tabelle 2 Absorptionsdaten von Blei

## Auswertung:

### Aufgabe 1: Messung der natürlichen Äquivalenzdosisleistung

Aufgabenstellung: Messung der natürlichen Äquivalentdosisleistung und der Dosisleistung des  $^{60}\text{Co}$ -Präparates in 0,5 m Abstand mit einem integrierten Äquivalentdosisleistungsmessgerät.

Die Messung der Hintergrundstrahlung ergab  $88 \frac{\text{ns}}{\text{h}}$ .

Auf das Jahr berechnet ergibt das:  $88 \frac{\text{ns}}{\text{h}} * 24\text{h} * 365\text{d} * 10^{-6} = 0,77 \frac{\text{mS}}{\text{a}}$

Die Äquivalenzdosis für  $^{60}\text{Co}$  wurde ebenfalls auf diese Weise berechnet. Hier wurde am Präparat gemessen. Der Abstand zwischen Präparat und Messgerät betrug ca. 30 cm.

Der gemessene Wert schwankte zwischen 180 und  $200 \frac{\text{ns}}{\text{h}}$  daher nehmen wir den Mittelwert daraus: 190

Auf das Jahr berechnet:  $190 \frac{\text{ns}}{\text{h}} * 24\text{h} * 365\text{d} * 10^{-6} = 1,66 \frac{\text{mS}}{\text{a}}$

### Aufgabe 2 Aufnahme der Spektren

Aufgabenstellung: Aufnahme der  $\gamma$ -Spektren von  $^{60}\text{Co}$   $^{137}\text{Cs}$   $^{22}\text{Na}$  und  $^{241}\text{Am}$  und Kalibrierung des Spektrometers

Siehe Messprotokoll

### Aufgabe 3 Bestimmung der Energie

Aufgabenstellung: Bestimmung der Energie der  $e^+e^-$ - Vernichtungsstrahlung

Zunächst wird ein linearer Zusammenhang zwischen Kanalnummer und Energie vermutet. Die Energie-Werte der jeweiligen Spektren sind bekannt.

Nuklid	Energie in MeV	Kanalnummer
$^{60}\text{Co}$	1,173	3315
$^{60}\text{Co}$	1,333	3682
$^{137}\text{Cs}$	0,662	1952
$^{22}\text{Na}$	0,540	1518
$^{22}\text{Na}$	1,275	3554
$^{241}\text{Am}$	0,060	769

Tabelle 3 Energien der nuklidspezifischen Strahlung im Zusammenhang mit der Kanalnummer

Der rot markierte Energiewert für Natrium ist der in der Literatur angegebene Maximalenergiewert für  $^{22}\text{Na}$ . Mit diesem Wert arbeiteten wir und suchten uns dazu den passenden Kanal heraus.

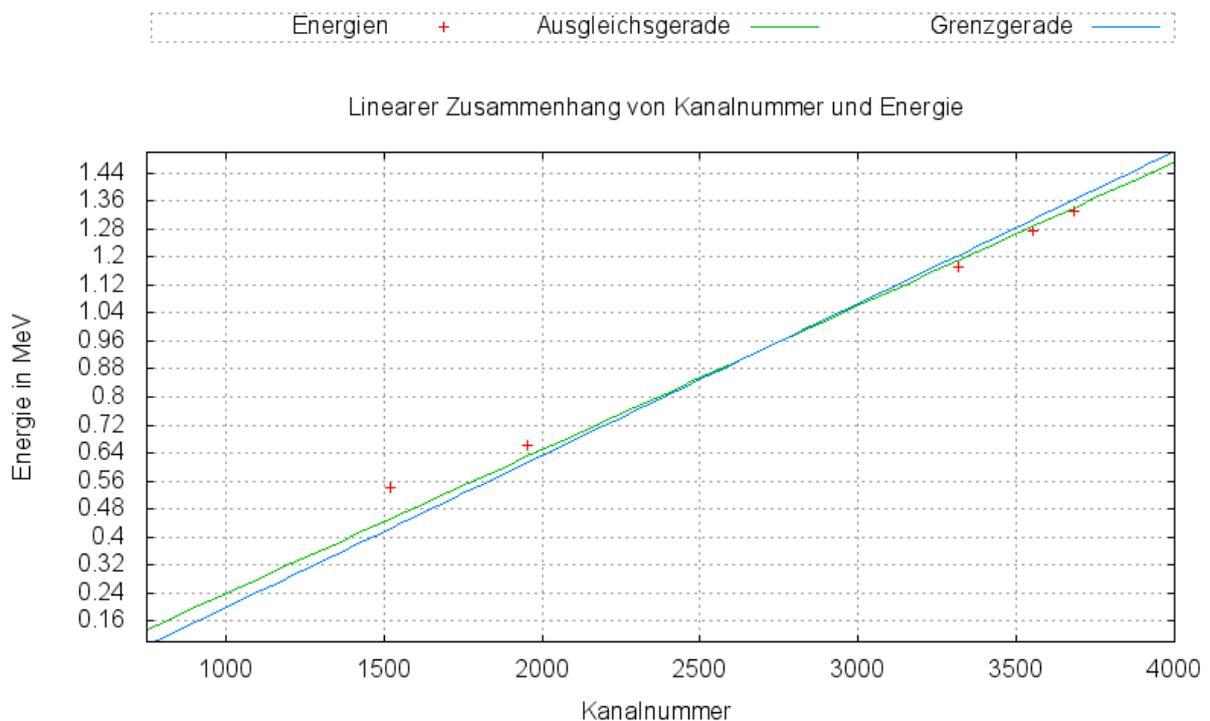


Abbildung 7 Linearer Zusammenhang von Kanalnummer und Energie

#### Aufgabe 4: Bestimmung des Auflösungsvermögens $^{137}\text{Cs}$

Aufgabenstellung: Bestimmung des Auflösungsvermögens des Spektrometers für die  $\gamma$ -Linie von  $^{137}\text{Cs}$ .

Dabei wird das Intervall bestimmt, das um einen Peak  $y_{max}$  herum entsteht. Die Intervallgrenzen sind jene x-Werte, die  $\frac{y_{max}}{2}$  noch erreichen.

Um  $\Delta k$  zu bekommen, haben wir Fit des Peaks von Cs das Maximum gesucht, und dann bei der Hälfte davon die Kanalnummern genommen und die Differenz gebildet. Das heißt: Das Maximum des Fits liegt bei 642 im Kanal 1874, somit kann man die Differenz aus Kanäle 1951 und 1797(jeweils bei 259 des Fits) bilden und kommt auf  $\Delta k$  154.

$$\underline{^{137}\text{Cs}} \quad y_{\max} = 700 \text{ (für Kanal 1880)} \quad \Delta k = 154 \rightarrow \frac{\Delta k}{k} = \frac{700}{154} = 0,454 \approx 4,54\%$$

Das Auflösungsvermögen für  $^{137}\text{Cs}$  ist  $\approx 3\%$  und liegt damit auf jeden Fall in der zu erwarteten Größenordnung dieser Messgeräteklasse, die bei ca. 8-10% liegt.

## Aufgabe 5 maximalen Übertragsenergie beim Compton-Streuprozess

Aufgabenstellung: Bestimmung der maximalen Übertragsenergie beim Compton-Streuprozess (Compton-Kante) für die  $\gamma$ -Linie von  $^{137}\text{Cs}$ .

Die Compton-Kante für  $^{137}\text{Cs}$  befindet sich geschätzt bei Kanalnummer 1325 mit rund 130 Impulsen.

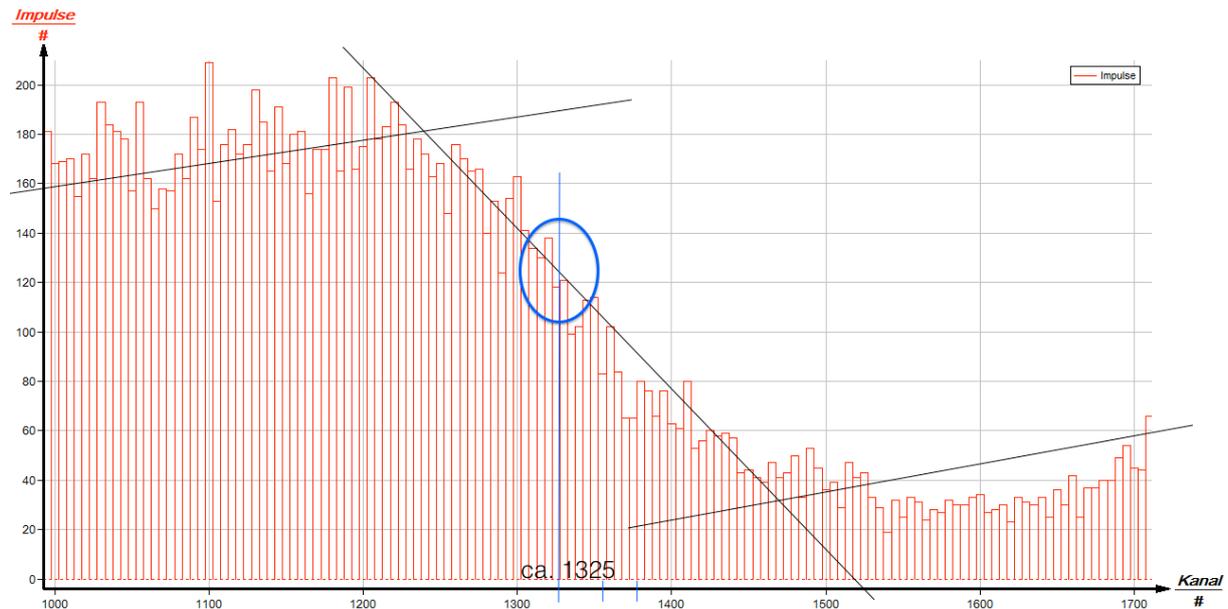


Abbildung 8 Compton Kante bei Cäsium

### Fehlerbetrachtung:

Der Wert für die Compton Kante wurde aus der Abbildung 8 herausgelesen.

Diese Art von Abschätzung geht mit einem relativ hohen Fehlerwert einher, welcher durchs Ablesen gegeben ist.

Wir schätzen den Fehler auf  $\pm 40$  Kanäle ein.

## Aufgabe 6: Absorption

Aufgabenstellung: Überprüfung des Absorptionsgesetzes und Bestimmung der Schwächungskoeffizienten und Halbwertsdicken für Eisen und Blei für die 0,662 MeV- $\gamma$ -Strahlung von  $^{137}\text{Cs}$ .

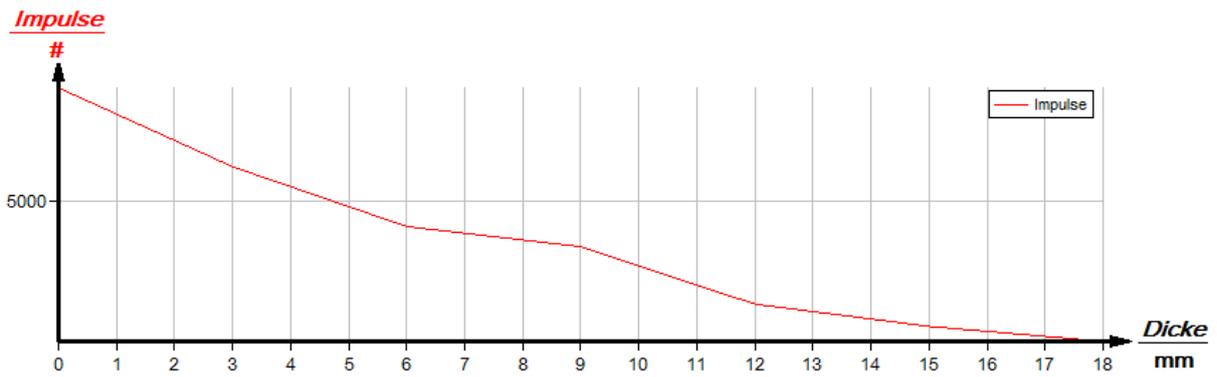


Abbildung 9 Absorption von Blei

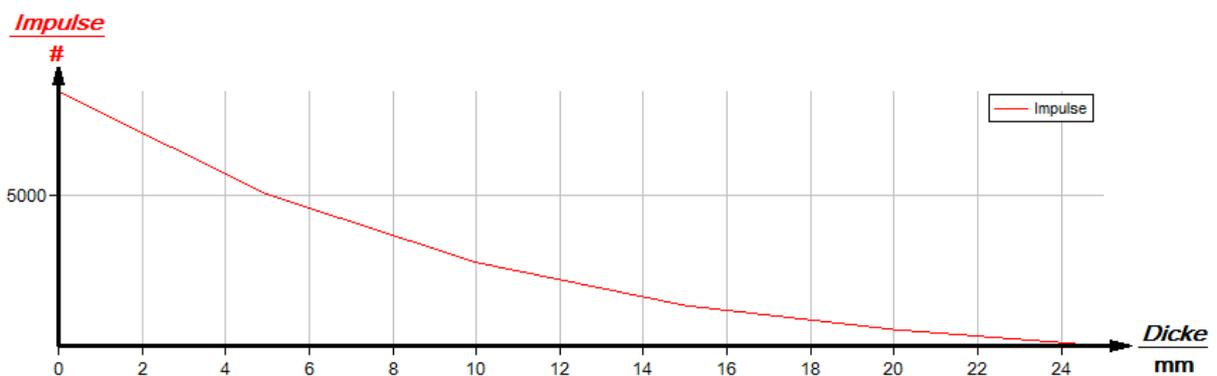


Abbildung 10 Absorption von Eisen

Das Absorptionsgesetz  $I = I_0 * e^{-\mu x}$  mit  $\mu$  = linearer Schwächungskoeffizient und  $x$  = Schichtdicke soll bestätigt werden.

$$\mu = -\frac{\ln \frac{I(x)}{I_0}}{x}$$

Gleichung 4

Zur Bestimmung des Schwächungskoeffizienten  $\mu$  wurden die Impulse in Abhängigkeit der Schichtdicke der Absorbermaterialien Blei und Eisen über einen Zeitraum von 90 Sekunden gemessen. Die Messwerte für sind in Abbildung 9 und 10 dargestellt.

Der so ermittelte Schwächungskoeffizient ergibt:

$$\mu_{\text{Blei}} = (0.05 \pm 0.02) \quad \mu_{\text{Eisen}} = (0.045 \pm 0.003)$$

Halbwertsdicke:

$$X_{HW} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Halbwertsdicke Blei:

$$X_{Blei} = \frac{\ln 2}{0,05 \pm 0,02} = 13,86 \pm 1,06 \text{ mm}$$

Halbwertsdicke Eisen:

$$X_{Eisen} = \frac{\ln 2}{0,045 \pm 0,003} = 15,40 \pm 2,1 \text{ mm}$$

Den fehlerhaften Wert aus Abbildung 9 haben wir entfernt und im Praktikum den Wert ein zweites Mal gemessen, mit der gleichen Bleidicke. Der Fehler ist in der Grafik sichtbar, wird aber bei der Rechnung nicht beachtet.

## Diskussion

### Aufgabe 1:

Die Äquivalenzdosisleistung von  $^{60}\text{Co}$  entspricht rund  $0,77 \frac{\text{mS}}{\text{a}}$ . Der gesetzliche Grenzwert der allgemeinen Bevölkerung (unter anderem auch Kinder) wurde auf  $1 \text{ mSv/a}$  festgelegt. Für beruflich strahlenexponierte, volljährige Personen wurde der Grenzwert jedoch auf  $20 \frac{\text{mS}}{\text{a}}$  erhöht.

Fehlerbetrachtung: Der Fehler wurde mit  $\Delta D = 40 \text{ nSv/h}$  sehr hoch angegeben. Die Schwankungen des Messgerätes in geringen Dosen sind hierfür verantwortlich. Ein genaueres Messgerät würde den Fehler vermutlich nicht verringern, sondern nur die natürlichen Schwankungen noch sensibler wahrnehmen.

### Aufgabe 2:

Die Aufnahme der Messwerte erfolgte mit Hilfe des Computers. Fehlerquellen: Die Abstände der einzelnen radioaktiven Präparate mussten identisch zum Messgerät sein um die für die jeweiligen Nuklide charakteristischen Peaks auflösen zu können. Bei der grafischen Aufzeichnung der Werte für  $^{22}\text{Na}$  fällt auf, der gesuchte 2. Peak kaum ausgeprägt ist. Das liegt wohl an der Häufigkeit des Zerfallsprozesses, welche für den 2. Peak erforderlich ist. Die Zerfallsmöglichkeit kommt statistisch gesehen selten vor.

### Aufgabe 3:

Der Fehler, welcher sich aus einer Relationsrechnung von Energie zu Kanal der anderen Präparate ergeben würde, ist zu groß, um einen annähernd genauen Peak-Energie-Wert zu ermitteln.

### Aufgabe 4:

Das Auflösungsvermögen  $\partial_k = \frac{\Delta k}{k}$  für  $^{137}\text{Cs}$  beträgt  $\partial_k = 0,454$ . Da alle hierfür benötigten Werte (Peak-Halbwertsbreite und Kanal) vom Computer erfasst wurden ist der Fehler als vernachlässigbar gering einzuschätzen.

### Aufgabe 5:

Da es sich hierbei um eine, aus einer grafischen Auswertung ausgelesener Schätzung handelt, ist der Fehler als recht groß zu erachten.

Nach dem Ablesen des Wertes und Abschätzen des Fehlers erhalten wir als Ergebnis:

Kanäle:  $1325 \pm 40$  Kanäle

### Aufgabe 6:

Das Gesetz der Absorption kann im Grunde als experimentell bestätigt angesehen werden.

Als Werte für die Halbwertsdicken haben wir:

$$X_{\text{Blei}} = \frac{\ln 2}{0,05 \pm 0,02} = 13,86 \pm 1,06 \text{ mm}$$

Sowie

$$X_{\text{Eisen}} = \frac{\ln 2}{0,045 \pm 0,003} = 15,40 \pm 2,1 \text{ mm}$$

Herausbekommen. Vergleicht man die errechneten Werte mit den Grafiken, kann man sehen, dass ungefähr bei den errechneten Werten die Hälfte des Graphen sitzt. Somit passen Grafiken und errechnete Ergebnisse zueinander und die Halbwertsdicken sind somit richtig, im Bezug auf die Grafiken.